评定菜籽粕的肉鸭净能的研究

王泽法　贾　刚*　赵　华　陈小玲　刘光芒　王康宁

（四川农业大学动物营养研究所，雅安　625014）

摘　要：本试验旨在实测菜籽粕的肉鸭净能（NE），并通过相关、回归分析建立菜籽粕 NE 与其常规组分之间的回归模型。试验采用析因法将菜籽粕的 NE 剖分为其提供给肉鸭的维持净能（NEm）和沉积净能（NEp），NEm 用肉鸭禁食产热（FHP）来估计，NEp 用比较屠宰法测定。选用 760 只 7 日龄、平均体重为（130.48±3.01） g 的樱桃谷肉鸭进行试验：首先选择 100 只肉鸭进行 NEm 评定试验，设自由采食、限饲 15%、限饲 25%、限饲 35%和限饲 45%共 5 个处理，建立产热（HP）和食入代谢能（MEI）的回归关系，外推到 MEI 为 0 时求得 FHP；然后选择 640 只鸭进行 NEp 评定试验，试验前屠宰 20 只肉鸭测定初始体能量作为起始对照，设基础饲粮组和菜籽粕替代基础饲粮组 31 个处理，所有处理均设 5 个重复，每个重复 4 只肉鸭，15 日龄时将肉鸭全部屠宰测定体能量；最后将菜籽粕 NE 与其常规组分进行相关、回归分析并建立预测模型。结果表明，1）樱桃谷肉鸭的 NEm 为 0.557 MJ/（kg $W^{0.75}$•d）。2）31 种不同菜籽粕的 NE 有较大差异，经套算法得到菜籽粕的 NE 为 4.18~6.05 MJ/kg DM，NE/表观代谢能(AME)为 0.56±0.06。3）菜籽粕 NE 与其常规组分高度相关，多元线性逐步回归建立的回归模型如下：NE=0.416AME+0.041CP-0.020NDF+0.110CF-1.093（R^2=0.901，RSD=0.06 MJ/kg，P<0.01），式中：CP 为粗蛋白质，NDF 为中性洗涤纤维，CF 为粗纤维。由此可见，不同来源的菜籽粕的常规组分和肉鸭 NE 有较大差异，菜籽粕 NE 与其常规组分高度相关，并具有回归关系。

关键词：菜籽粕；樱桃谷肉鸭；净能；常规组分

收稿日期：2016-05-25
基金项目：四川省科技支撑计划（2013NZ0054）；四川农业大学双支计划
作者简介：王泽法（1989—），男，山东潍坊人，硕士研究生，从事饲料资源开发与高效利用研究。E-mail: 1052813192@qq.com
*通信作者：贾　刚，教授，博士生导师，E-mail: jiagang700510@163.com

中图分类号：S834

准确估算饲料真实能值非常重要，既能降低饲料配制成本又能够满足动物实际生产的能量需要[1]。使用代谢能（ME）和消化能（DE）评定含纤维、蛋白质较多饲粮的能值时结果偏高，而评定含淀粉较多饲粮的能值时结果偏低[2-3]。当饲料含氮营养物质和纤维的含量差异较大时，动物肠道消化利用这些饲料的过程中产热（HP）并不相同[1]。因此与 ME 体系相比，净能（NE）体系能够更加准确地估计饲料的真实能值[4]，它是唯一将动物能量需要量与饲料能量在同一水平上体现并且不受饲料差异影响的能量体系，并且使用 NE 体系配制动物饲粮还能够降低养殖成本[3]。目前已有玉米、豆粕的肉鸭 NE 的报道，但还未见肉鸭菜籽粕 NE 及其预测模型的相关研究；此外，通过动物试验实测 NE 技术难度大，耗时，所需经费大，能否通过数学分析方法构建其预测模型也是养分有效性评定的一个思路[5]。因此，本研究选择樱桃谷肉鸭为试验动物，通过动物试验测定出不同菜籽粕的 NE，并探讨菜籽粕 NE 与其相应的常规组分之间的相关、回归关系，以期得到理想的肉鸭菜籽粕 NE 预测模型，从而为快速测定肉鸭菜籽粕 NE 提供依据。

1 材料与方法

1.1 菜籽粕原料采集及试验饲粮

根据我国菜籽粕产地的区域分布和《饲料用菜籽粕》(GB/T 23736—2009)的菜籽粕分级指标，从全国各地收集 31 个菜籽粕样品。

参考 NRC（1994）肉鸭的营养需要，配制基础饲粮 1 用于测定肉鸭菜籽粕的维持净能（NEm）；配制基础饲粮 2，将每种菜籽粕样品以 15%的比例替代基础饲粮 2 配制成 31 个待测饲粮，用于测定菜籽粕的肉鸭沉积净能（NEp）。基础饲粮组成及营养水平见表 1，所有的饲粮均制成颗粒料。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis) %

项目 Items	基础饲粮 1 Basal diet 1	基础饲粮 2 Basal diet 2
玉米 Corn	61.70	69.00
豆粕 Soybean meal	32.50	25.00
豆油 Soybean oil	1.10	2.90
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.20	0.10
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.40	0.10
石粉 Limestone	1.13	0.70
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.50	1.20
食盐 NaCl	0.30	0.30
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20
预混料 Premix	0.50	0.50
统糠 Chaff	0.47	
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.14	12.97
粗蛋白质 CP	20.00	17.03
钙 Ca	0.90	0.64
总磷 TP	0.65	0.55
赖氨酸 Lys	1.10	0.96
蛋氨酸 Met	0.45	0.35
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.80	0.59
苏氨酸 Thr	0.75	0.62
色氨酸 Trp	0.25	0.21

预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kg of diets: VA 4 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 20 IU，VK_3 2.0 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 12 mg，VB_6 3 mg，VB_{12} 0.02 mg，烟酸 nicotinic acid 50mg，泛酸 pantothenic acid 11 mg，叶酸 folic acid 1.0 mg，$CuSO_4$ 8 mg，$FeSO_4$ 60 mg，$MnSO_4$ 100 mg，$ZnSO_4$ 60 mg，KI 0.4 mg，Na_2SeO_3 0.3 mg，生物素 biotin 0.15 mg。

1.2　试验设计

于四川农业大学动物遗传研究所购入 1 000 只 1 日龄樱桃谷肉鸭，正常饲养管理至 6 日龄，期间所有肉鸭饲喂基础饲粮 1，在 7 日龄时所有的肉鸭经禁食 24 h 后，选取 760 只平均体重为（130.48±3.01） g 的肉鸭，进入正式试验，试验期为 8~14 日龄，其中随机选择体重接近的 20 只肉鸭屠宰用于测定初始体成分，剩余的 740 只肉鸭分为 2 部分，分别用于测定菜籽粕 NEm 和 NEp。用回归法测定菜籽粕的 NEm，共使用 100 只樱桃谷肉鸭，饲喂水平的设定为自由采食、限饲 15%、限饲 25%、限饲 35%和限饲 45%，通过测定不同食入能量水平的 HP 外推到食入代谢能（MEI）为 0 时的 HP 即为禁食产热（fasting heat production, FHP）；用比较屠宰法测定菜籽粕的 NEp，试验共使用肉鸭 640 只，其中 20 只肉鸭用于测定基础饲粮 2 的 NEp，剩余的 620 只肉鸭用于测定 31 种菜籽粕饲粮的 NEp。NEm 和 NEp 试验均是每个处理 5 个重复，每个重复 4 只肉鸭。

1.3　样品采集及实验室分析

ME 的测定根据 Cao 等[6]的描述采用全收粪法。每个代谢笼下方均放置集粪板，上面覆盖干净的塑料布，采用全收粪法每隔 12 h 收集 1 次排泄物，及时清理掉落的羽毛和饲料。将试验期间每个笼子收集的所有排泄物混合在一起，存放于−20 ℃的冰箱中，并测定其干物质（DM）含量和能量[7]。在试验开始（8 日龄）和结束(15 日龄)时试验鸭以重复为单位称重，统计试验全期采食量。以重复为单位计算平均日增重、平均日采食量和料重比。15 日龄时肉鸭颈椎脱臼安乐死，迅速将胴体放置在-20 ℃冰箱中保存，冷冻胴体被解冻后分解，

粗研磨，在混合器中充分混合，得到均匀样本，烘干的肉样细末粉碎后放于密封袋中做进一步的分析。试验饲粮、菜籽粕、肉样和排泄物能值的测定均使用氧弹测热仪（PARR-6400型）。菜籽粕常规组分的测定方法参照国标，具体对应方法如下：DM（GB/T 6435—2006）、粗蛋白质(CP)（GB/T 6432—1994）、粗纤维(CF)（GB/T 6434—2006）、中性洗涤纤维(NDF)（GB/T 20806—2006）、酸性洗涤纤维(ADF)（NY/T 1459—2007）、粗脂肪(EE)（GB/T 6433—2006）、粗灰分（Ash）（GB/T 6438—2007）。

1.4　计算肉鸭菜籽粕 NE

MEI(MJ/kg)=(食入总能－排泄物总能)/采食量。

计算菜籽粕的 NE 是将肉鸭菜籽粕 NE 剖分为 NEp 和 NEm 然后求和得到[3]，测定肉鸭菜籽粕 NEm，用 NRC(1981)和 Souza 等[7]方法计算肉鸭 FHP：

$HP=MEI-RE$；

$\log HP=a+bMEI$。

式中：RE 为生产能(recovered energy，RE)，a、b 为常数。

计算 FHP，将 HP 和 ME 回归推导维持代谢能为 0 时的 MEI 即为 FHP。

计算肉鸭菜籽粕 NEp 是初始体内沉积能量与试验末体内沉积能量的差值。

饲粮 NE=$(NEm\times W^{0.75}\times 7\ \text{d}+NEp)/7\ \text{d}$（$W^{0.75}$：试验期平均代谢体重）[7-8]；

菜籽粕 NE=（基础饲粮 2 的 NE–基础饲粮 1 的 NE×0.85）/0.15[7-8]。

1.5　数据处理

试验数据用 Excel 整理后，采用 SPSS 22.0 软件进行描述性统计，结果以平均值±标准差来表示。不同处理得到的 MEI、RE、HP 采用单因素方差分析，以 $P<0.05$ 作为显著性标准。将菜籽粕 NE 与其常规组分进行相关性分析，然后用 SPSS 22.0 对 31 个菜籽粕样品 NE 与其常规组分和表观代谢能（AME）进行逐步回归分析，建立菜籽粕 NE 与其常规组分结合 AME 的预测模型。

2 结 果

2.1 菜籽粕的常规组分含量测定结果

实验室测定 31 种菜籽粕的总能为 16.09~19.02 MJ/kg，CP、DM、EE、CF、NDF 和 ADF 含量分别为 35.05%~46.33%、88.39%~91.97%、0.42%~3.03%、11.72%~17.82%、25.02%~50.32%、14.46%~19.38%，各常规组分含量情况见图 1，从图 1 可知，31 种菜籽粕的常规组分符合《饲料用菜籽粕》(GB/T 23736—2009)标准，并且菜籽粕常规组分之间存在差异。



图 1 菜籽粕的常规组分（风干基础）

Fig.1 Conventional composition of rapeseed meals （air-dry basis）

2.2 樱桃谷肉鸭 FHP

FHP 试验 5 个处理樱桃谷肉鸭的 MEI、RE、HP 见表 2，各组之间 HP 差异不显著（P>0.05），除自由采食组与限饲 15%组、限饲 15%组与限饲 25%组的 RE 差异不显著（P>0.05）外，其余均差异显著（P<0.05）。

表 2 不同饲喂水平下 MEI、RE、HP 和生产性能

Table 2 The MEI, RE, HP and performance on different feeding levels

项目 Items	自由采食 *Ad libitum*	限饲 15% Restricted feeding by 15%	限饲 25% Restricted feeding by 25%	限饲 35% Restricted feeding by35%	限饲 45% Restricted feeding by 45%

食入代谢能					
MEI/(MJ/kgW$^{0.75}$•d)	2.41±0.07[a]	2.14±0.01[b]	2.00±0.03[c]	1.82±0.03[d]	1.64±0.03[e]
生产能					
RE/(MJ/kgW$^{0.75}$•d)	1.38±0.00[a]	1.21±0.04[ab]	1.04±0.05[bc]	0.93±0.03[c]	0.70±0.08[d]
产热					
HP/(MJ/kgW$^{0.75}$•d)	1.03±0.25	0.93±0.10	0.96±0.17	0.89±0.09	0.94±0.26
平均日采食量					
ADFI/g	97.82±1.23[a]	83.15±2.11[b]	73.37±1.01[c]	63.58±0.18[d]	53.80±0.96[e]
平均日增重					
ADG/g	69.38±1.46[a]	58.2±0.72[b]	48.14±1.44[c]	41.38±1.09[d]	32.67±2.15[e]

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05).

以 MEI 为自变量，以 5 个处理相应的 HP 的对数 logHP 为因变量进行一元线性回归，得到相应的回归方程和 FHP：

$$\log HP=0.001X+2.124 \quad (R^2=0.984，RSD=0.000，P=0.000)。$$

根据关系式，当 MEI=0 时，FHP 为 0.557 MJ/kg W$^{0.75}$•d。

2.2　菜籽粕提供给肉鸭的 NEm、NEp 和 NE

由表 3 可见，通过代谢试验和比较屠宰试验，菜籽粕顶替饲粮提供给樱桃谷肉鸭的 NEp 为(3.24±1.54) MJ/kg，NEm 为(2.11±0.07) MJ/kg，经套算法得到的 NE 为 4.18~6.05 MJ/kg DM，NE/AME 为（0.56±0.06）。

表 3　基础饲粮 1 和菜籽粕替代饲粮的 NEm、NEp 和 NE（风干基础）

Table 3 The NEm, NEp and NE of basal diet 1 and rapeseed replaced diet (air-dry basis)

样品 Samples	维持净能 NEm/(MJ/kg)	沉积净能 NEp/(MJ/kg)	净能 NE/(MJ/kg)	表观代谢能 AME/(MJ/kg)	净能/表观代谢能 NE/AME
基础饲粮 1 Basal diet 1	2.18±0.06	7.00±0.52			
1	2.26±0.08	3.27±0.81	6.12±0.29	9.4±2.61	0.64±0.10
2	2.22±0.03	2.54±0.79	5.86±0.95	9.4±4.38	0.59±0.15
3	2.24±0.04	3.15±0.83	5.68±0.73	10.00±2.17	0.57±0.15
4	2.23±0.07	2.82±1.06	5.67±0.46	10.05±4.25	0.57±0.17
5	2.22±0.03	2.64±1.03	6.18±0.55	9.96±7.99	0.56±0.59
6	2.20±0.06	2.45±0.73	6.15±0.89	8.51±6.31	0.65±0.15
7	2.24±0.03	3.53±0.75	6.89±0.30	9.11±3.71	0.63±0.14
8	2.22±0.06	2.57±1.27	5.73±1.11	9.98±4.79	0.56±0.32
9	2.19±0.06	2.32±0.7	5.15±0.80	9.52±6.76	0.60±0.12
10	2.23±0.08	4.14±1.07	6.03±0.66	10.44±9.11	0.57±0.19
11	2.22±0.04	3.14±0.86	6.02±0.77	10.42±2.14	0.56±0.09
12	2.15±0.03	2.91±1.01	5.09±0.75	9.35±5.91	0.54±0.1
13	2.13±0.04	3.29±1.39	5.11±0.81	10.10±3.95	0.50±0.39
14	2.21±0.03	4.12±0.77	5.68±0.38	10.9±4.24	0.52±0.10
15	2.19±0.08	2.91±1.36	6.42±2.16	10.70±2.87	0.52±0.11
16	2.25±0.05	3.62±1.91	6.56±0.41	9.69±4.13	0.61±0.16
17	2.26±0.02	3.27±0.61	6.88±0.27	9.22±4.27	0.63±0.09
18	2.22±0.09	3.27±1.01	5.68±0.82	8.31±4.60	0.68±0.31
19	2.20±0.05	3.50±1.14	6.20±0.35	9.15±6.06	0.57±0.14
20	2.29±0.08	3.84±0.92	6.17±1.22	9.59±2.92	0.62±0.07
21	2.14±0.05	2.69±1.06	4.12±2.34	9.26±3.52	0.52±0.20
22	2.10±0.03	2.80±1.03	5.22±0.72	9.45±3.30	0.46±0.30
23	2.06±0.06	2.70±0.74	4.67±0.72	8.92±6.54	0.47±0.18
24	2.09±0.05	2.71±1.03	4.54±0.86	9.08±3.76	0.48±0.17

25	2.16±0.04	4.80±3.43	5.35±0.94	8.65±2.37	0.57±0.20
26	2.11±0.05	3.21±0.79	5.23±0.96	9.64±3.23	0.48±0.11
27	2.12±0.10	2.75±1.06	5.40±0.56	9.98±4.11	0.49±0.18
28	2.06±0.03	2.46±0.63	4.70±0.69	8.71±2.60	0.49±0.20
29	2.12±0.06	3.05±1.19	4.71±0.84	9.49±3.13	0.49±0.16
30	2.12±0.06	3.59±0.73	5.39±0.89	8.99±3.47	0.53±0.25
31	2.08±0.12	2.85±0.60	5.50±0.67	9.21±5.35	0.54±0.27
平均值 Mean	2.11±0.07	3.24±1.54	5.59±0.69	9.18±3.26	0.56±0.06

2.3 菜籽粕 NE 与其常规组分的关系

将得到的菜籽粕的 NE、AME 和常规组分进行相关分析，得到的相关关系见表 4。从表中可以看到 NE 和 AME、NDF、EE 和 ADF 具有极显著的相关关系（P<0.01）。进一步使用多元线性逐步回归对 NE、AME 和常规组分进行回归分析，得到的结果见表 5。用菜籽粕 NE 与常规组分进行逐步回归时，只有 NDF、ADF 和 EE 作为进入变量参与模型的构成，而其他的变量则因相关性太低而未进入。使用 NE 结合 AME 得到的预测模型的相关性更高。即引入 AME 后，R^2 增加到 0.901，RSD 降低到 0.06 MJ/kg。

表 4 菜籽粕 NE 与 AME 和常规组分(风干基础)的相关系数

Table 4 The correlation coefficient between NE with AME and conventional composition (air-dry basis) of rapeseed meal

项目 Item	净能 NE	表观代谢能 AME	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗纤维 CF	中性洗涤纤维 DNF	酸性洗涤纤维 ADF
净能 NE	1.000	0.786**	-0.218	0.645**	-0.012	-0.708**	-0.601**
表观代谢能 AME		1.000	-0.224	0.284	0.078	-0.451	-0.218
粗蛋白质 CP			1.000	0.071	-0.016	0.258	0.188
粗脂肪 EE				1.000	-0.375	-0.429	-0.468
粗纤维 CF					1.000	0.144	-0.153
中性洗涤纤维 DNF						1.000	0.607

酸性洗涤纤维 ADF	1.000

**表示极显著相关（P<0.01）。

** mean extremely significant correlation （P<0.01）.

表 5 菜籽粕 NE 的常规组分(风干基础)预测模型

Table 5 The prediction models of conventional composition (air-dry basis) of rapeseed meal NE

序号 No.	预测模型 Prediction models	决定系数 R^2	残余标准差 RSD	P 值 P-value
1	NE=5.3850-0.012NDF	0.647	0.16	P<0.01
2	NE=4.166+0.024CP+0.012NDF	0.781	0.14	P<0.01
3	NE=4.659+0.024CP+0.012NDF-0.26ADF	0.870	0.12	P<0.01
4	NE=0.416AME+0.041CP-0.020NDF+0.110CF-1.093	0.901	0.06	P<0.01

3 讨 论

3.1 樱桃谷肉鸭 FHP 的评定

NEm 是估计饲料原料 NE 的关键点之一[9]。NEm 的实测是通过不同能量水平下的 HP 来外推计算得到 FHP。目前 FHP 的测定主要采用呼吸测热室测定或者是 NRC(1981)以及 Souza 等[7]提出的回归公式推导。本试验中得到 logHP=0.001MEI+2.115 （R^2=0.984），模型的可靠程度较高。本研究得到樱桃谷肉鸭在 26~28 ℃的 NEm 为 545.5 kJ/（kg $W^{0.75}$•d），李杰等[10]运用回归法试验测定天府肉鸭 NEm 为 598.251 kJ/(kg$W^{0.75}$•d)，于乐晓等[11]采用相同的方法得到 2~3 周龄天府肉鸭的 NEm 为 577.03 kJ/(kg$W^{0.75}$•d)，郑灿[12]采用回归公式测得 1~21 日龄樱桃谷肉鸭 28~32 ℃的 FHP 为 410.3 kJ/(kg$W^{0.75}$•d)。这些结果表明肉鸭 NEm 的大小在 410.3~598.3 kJ/(kg $W^{0.75}$•d)。本试验结果与前人结果相近，但与郑灿[12]结果有差异。Kil 等[13]研究发现猪 NEm 的大小在很大程度上受到性别、年龄、环境、基因、生理状态、饲喂水平等的影响。Palander 等[14]、Knap[15]、Verstegen[16]发现 NEm 的大小受到机体体温调节、免疫系统的激活、疾病和应激条件等的影响。Longo 等[17]测得 13、23 和 32 ℃时肉仔鸡的 NEm 分别为 667.06、486.27 和 538.55 kJ/(kg $W^{0.75}$•d)。Sakomura 等[18]研究也发现罗曼蛋鸡的

NEm 随着试验验温度的升高而降低。由此可见温度的变化会对动物的 NEm 有明显的影响，另外，而本试验的温度为 26~28 ℃，低于郑灿[12]试验温度 28~32 ℃。同时，NEm 的测定结果会受到试验过程中的动物活动量的影响。Filho 等[19]在研究笼养和平养条件下鹌鹑 NEm 的影响，测得笼养时鹌鹑的 NEm 低于平养，其原因是平养时动物活动量大，导致 HP 增加从而增加 NEm。Buskirk 等[9]测定牛的 NEm 时发现，特定试验条件会限制动物的活动量从而降低 NEm，NRC（1998）推荐优质牧场牛的 NEm 比试验条件下高 10%，而贫瘠牧场的牛的 NEm 要提高 20%。本试验条件肉鸭分笼以及收集排泄物过程造成肉鸭应激导致活动量增大。

综上所述，机体的 FHP 会受到环境温度、动物活动量等因素的影响，导致测定动物的 NEm 在一个动态范围内变化，也说明本试验测得的 NEm 是准确的。

3.2　樱桃谷肉鸭菜籽粕 NE 和 NE/AME

在肉鸭上饲料 NE 的数据还较少[10-11, 20]，关于不同动物的菜籽粕 NE 数据仅有 Nair 等[21]的结果（12.64 MJ/kg），法国能量体系给出生长猪和育肥猪的菜籽粕 NE 分别为 8.6 和 9.1 MJ/kg DM。甘维熊等[22]测得生长猪菜籽粕的 NE 为 6.55 MJ/kg DM，已有结果表明动物菜籽粕的 NE 在 6.55~12.8.1 MJ/kg DM 之间。本试验得到菜籽粕的樱桃谷肉鸭 NE 为 4.18~6.05 MJ/kg DM，这个结果与猪、牛的结果有一定差异，这可能与动物对菜籽粕的利用效率有关，此外可能与菜籽粕常规组分的不同也有关系。目前还没见关于肉鸭菜籽粕 NE 的报道，本研究的结果与张琼莲等[23]报道的 1~3 周龄黄羽肉鸡菜籽粕 NE 为 5.22 MJ/kg DM、李再山等[24]报道的艾微茵肉鸡菜籽粕 NE 为 4.72～7.22 MJ/kg DM 基本相当。由于菜籽粕纤维含量较高[15]，且与家禽相比，反刍动物和单胃动物大肠消化饲料纤维的能力更强，导致有更高的 HP，因此其 NE 值也较高。本试验测得菜籽粕的 AME 为 8.31~10.44 MJ/kg DM，在反刍动物、猪、蛋鸡、火鸡和肉鸡的菜籽粕 ME 分别 11.7~13.4 MJ/kg、10.41~16.06 MJ/kg、7.50~9.35 MJ/kg、8.31~10.06 MJ/kg 和 7.41~10.09 MJ/kg[25]，表明本试验获得的菜籽粕 NE 的数据与相关研究

具有一致性。

NE/AME 是反映饲料真正被利用的程度，本研究得到的 NE/AME 为 0.56±0.06。李再山等[24]测得艾维茵肉鸡菜籽粕 NE/AME 为 0.59~0.62，Sauvant 等[26]和 NRC（1998）给出了生长猪菜籽粕的 NE/AME 为 0.61~0.64。Sarmiento-Franco 等[27]研究发现家禽饲粮组成能够影响饲料原料 NE/AME。De Lange 等[28]研究指出，家禽（肉鸭）饲粮中可消化养分变化很小，因此降低了饲料 AME 转化为 NE 的效率的变异。Swick 等[29]研究发现，饲料中脂肪含量增高会提高 NE/AME，而纤维和 CP 含量的升高则降低 NE/AME，Noblet 等[30]也报道高蛋白质水平和纤维水平会降低 NE/AME，由于本试验菜籽粕添加水平以及 CP、NDF 含量相对较高，均对试验结果有一定影响。本试验参照 Enami 等[31]和 De Goey 等[32]的结果，用 15%的菜籽粕代替基础饲粮 2 配制待测饲粮，从而应用套算法而得到菜籽粕的 NE，这种方法会受到替代比例的影响，从而导致菜籽粕 NE 测定值的变化。本试验的设计和测定方法是参考 Dietz 等[8]、Souza 等[7]和李再山等[24]的研究，研究结果也与他们的结果基本一致，表明运用比较屠宰法结合套算法测定菜籽粕这类高蛋白质、高纤维饲料的 NE 是可行的。

3.3 菜籽粕 NE 和其常规组分之间的关系

本研究还探讨了菜籽粕 NE 与其常规组分之间的关系，Noblet 等[30]研究指出，通过采用饲料的常规组分可以准确地预测生长猪的 DE 和 ME，同时还表明 NDF 为最佳的预测因子，本研究发现菜籽粕的 NE 与其 NDF、EE、ADF 含量高度相关，并具有显著的回归关系。多元线性逐步回归后发现以 AME 结合 NDF、ADF 和 CP 能最可靠、准确地预测菜籽粕的 NE(R^2 和 RSD 分别为 0.985 和 0.088 MJ/kg)。Noblet 等[30]指出 ME 体系可以比较好地评定富含蛋白质和纤维饲料原料的能值，张欣欣等[33]的结果表明肉鸭饼粕类饲料 ME 预测模型的最佳预测因子为 ADF。孙献忠等[34]也指出在使用常规组分建立饲料有效能值的估计模型时，使用 NDF 和 ADF 的预测准确性优于 CF。Atkinson 等[35]指出肉鸭仅能消化小部分纤维，纤维在肉鸭营养上具有阻碍营养物质吸收的作用。因此，在肉鸭饲料能值的预测模型中，可能是肉

鸭对纤维消化能力较弱的特点使其成为最佳的预测因子。本研究发现菜籽粕常规组分中NDF含量较高，且变异较大，这可能也是NDF最为最佳单一预测因子的原因之一。以上研究表明本研究得到的预测方程的预测因子和他人的研究结果基本相同，从而表明使用常规组分建立樱桃谷肉鸭菜籽粕NE的预测模型是可行的。

4 结 论

① 不同菜籽粕的常规常规组分具有较大的差异，对樱桃谷肉鸭而言，菜籽粕NE为4.18~6.05 MJ/kg DM，NE/AME为0.56±0.06。

② 菜籽粕的NE与其常规组分相关，并具有回归关系，回归方程如下：

NE=0.416AME+0.041CP-0.020NDF+0.110CF-1.093 （R^2为0.901，RSD为0.06 MJ/kg，P<0.01）。

参考文献：

[1] VAN MILGEN J,NOBLET J.Partitioning of energy intake to heat,protein,and fat in growing pigs[J].Journal of Animal Science,2003,81(Suppl 2):E86–E93.

[2] NOBLET J.Recent advances in energy evaluation of feeds for pigs[M]//GARNSWORTHY PC,WISEMAN J.Recent Advances in Animal Nutrition 2005.Nottingham,UK:Nottingham University Press,2006:113–132.

[3] VELAYUDHAN D E,KIM I H,NYACHOTI C M.Characterization of dietary energy in Swine feed and feed ingredients:a review of recent research results[J].Asian Australasian Journal of Animal Sciences,2015,28(1):1–13.

[4] ZIJLSTRA R T,SWIFT M L,WANG L F,et al.Short communication:near infrared reflectance spectroscopy accurately predicts the digestible energy content of barley for pigs[J].Canadian Journal of Animal Science,2011,91(2):301–304.

[5] PEERS D G,TAYLOR A G,WHITTEMORE C T.The influence of feeding level and level of dietary inclusion on the digestibility of barley meal in the pig[J].Animal Feed Science and Technology,1977,2(1):41–47.

[6] CAO M H,ADEOLA O.Energy value of poultry byproduct meal and animal-vegetable oil blend for broiler chickens by the regression method[J].Poultry Science,2016,95(2):268–275.

[7] SOUZA A P,MEDEIROS A N,CARVALHO F F R,et al.Energy requirements for maintenance and growth of Canindé goat kids[J].Small Ruminant Research,2014,121(2/3):255–261.

[8] DIETZ C,KROECKEL S,SCHULZ C,et al.Energy requirement for maintenance and efficiency of energy utilization for growth in juvenile turbot (*Psetta maxima*,L.):the effect of strain and replacement of dietary fish meal by wheat gluten[J].Aquaculture,2012,358-359:98–107.

[9] BUSKIRK D D,LEMENAGER R P,HORSTMAN L A.Estimation of net energy requirements (NEm and NE delta) of lactating beef cows[J].Journal of Animal Science,1992,70(12):3867–3876.

[10] 李杰,贾刚,赵华,等.应用化学成分建立天府肉鸭豆粕净能预测模型的研究[J].动物营养学报,2015,27(10):3110–3117.

[11] 于乐晓,贾刚,赵华,等.2~3 周龄天府肉鸭净能需要量的评定[J].动物营养学报,2015,27(11):3391–3401.

[12] 郑灿.不同支直链淀粉比例玉米鸭净能值的研究[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2010.

[13] KIL D Y,KIM B G,STEIN H H.Feed energy evaluation for growing pigs[J].Asian Australasian Journal of Animal Sciences,2013,26(9):1205–1217.

[14] PALANDER S,NÄSI M,ALA-FOSSI I.Rapeseed and soybean products as protein sources for growing turkeys of different ages.[J].British Poultry Science,2004,45(5):664–671.

[15] KNAP P W.Variation in maintenance requirements of growing pigs in relation to body composition.A simulation study[D].Ph.D.Thesis.Wageningen:Wageningen Agricultural University,2000.

[16] VERSTEGEN M W A.Developments towards net energy systems in feeds and animals[C]//Proceedings of the 22nd Western Nutrition Conference.Saskatoon:[s.n.],2001:170–184.

[17] LONGO F A,SAKOMURA N K,RABELLO C B V,et al.Metabolizable energy requirements for maintenance and growth of broilers [J].Revista Brasileira de Zootecnia,2006,35(1):119–125.

[18] SAKOMURA N K,RESENDE K T,FERNANDES J B K,et al.Net energy requirement models for broiler breeders,laying hens and broilers[C]//Proceedings of the 15th European Symposium on poultry nutrition.Balatonfüred:[s.n.],2005:459–461.

[19] FILHO J,DA SILVA J H V,SILVA C T,et al.Energy requirement for maintenance and gain for two genotypes of quails housed in different breeding rearing systems[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2011,40(11):2415–2422.

[20] 米成林,贾刚,陈小玲,等.评定天府肉鸭玉米净能的研究[J].动物营养学报,2015,27(9):2705–2713.

[21] NAIR J,PENNER G B,YU P Q,et al.Evaluation of canola meal derived from *Brassica juncea* and *Brassica napus* seed as an energy source for feedlot steers[J].Canadian Journal of Animal Science,2015,95(4):599–607.

[22] 甘维熊,贾刚,王康宁.菜粕与棉粕的净能预测值及其对生长猪生产性能和氮利用的影响[J].中国畜牧杂志,2011,47(7):42–45.

[23] 张琼莲,贾刚,吴秀群,等.1～21 日龄黄羽肉鸡饲料净能值测定及其对生长性能和氮利用率的影响[J].动物营养学报,2011,23(7):1094–1100.

[24] 李再山,贾刚,吴秀群,等.1～21 日龄艾维茵肉鸡菜籽粕和棉籽粕净能预测模型研究[J].动物营养学报,2011,23(10):1769–1774.

[25] BELL J M.Factors affecting the nutritional value of canola meal:a review[J].Canadian Journal of Animal Science,1993,73(4):689–697.

[26] SAUVANT D,PEREZ J M,TRAN G.Tables of composition and nutritional value of feed materials:pigs,poultry,cattle,sheep,goats,rabbits,horses and fish[M].2nd ed.Wageningen,the Netherlands:Wageningen Academic Publishers,2004.

[27] SARMIENTO-FRANCO L,MACLEOD M G,MCNAB J M.True metabolisable energy,heat increment and net energy values of two high fibre foodstuffs in cockerels[J].British Poultry Science,2000,41(5):625–629.

[28] DE LANGE C F M,BIRKETT H.Characterization of useful energy content in swine and poultry feed ingredients[J].Canadian Journal of Animal Science,2005,85(3):269–280.

[29] SWICK R A,WU S B,ZUO J J,et al.Implications and development of a net energy system for broilers[J].Animal Production Science,2013,53(11):1231–1237.

[30] NOBLET J,FORTUNE H,SHI X S,et al.Prediction of net energy value of feeds for growing pigs[J].Journal of Animal Science,1994,72(2):344–354.

[31] ENAMI H R,SAFAFAR H.Evaluation of adding canola meal to diet on growth performance of male wistar rats[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2010,9(6):1073–1076.

[32] DE GOEY L W,EWAN R C.Energy values of corn and oats for young swine[J].Journal of Animal Science,1975,40(6):1052–1057.

[33] 张欣欣,王康宁,贾刚.糠麸糟渣、饼粕类饲料鸭有效能的预测模型研究[C]//中国畜牧兽医学会动物营养学分会—第九届学术研讨会论文集.北京:中国畜牧兽医学会,2004.

[34] 孙献忠,熊本海.用饲料化学成分预测猪饲料能值的研究进展[J].中国畜牧兽医,2006,33(11):19–23.

[35] ATKINSON J,KELSEY E.Effects of diet composition on the development of gut morphology in growing ducklings[J].Poultry Science,1984,63(1):56.

Study on Evaluating Net Energy of Rapeseed Meal for Meat Ducks

WANG Zefa JIA Gang* ZHAO Hua CHEN Xiaoling LIU Guangmang WANG Kangning

（*Institute of Animal Nutrition*, *Sichuan Agricultural University*, *Ya'an* 625014, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to measured the net energy (NE) of rapeseed meal for meat ducks, and establish predition models for net energy of rapeseed meal based on its conventional composition for Cherry Valley duck by correlation and regression analysis. A factoral analysis procedure was used to estimate net energy of rapeseed meal that combines net energy for maintenance (NEm) and production (NEp). NEm was estimated by fasting heat production (FHP) of meat ducks, NEp was measured using the comparative slaughter technique. A total of 760 seven-day-old Cherry Valley ducks with an average weight of (130.48±3.01) g were selected, firstly, a total of 100 ducks was seclected for the experiment of NEm, the five treatments including *ad libitum* and restricted feeding by 15%, 25%, 35% and 45%, respectivily; the FHP measured was by establishing regression equation between heat production (HP) and metabolic energy intake (MEI) extrapolated to MEI for 0. A total of 640 ducks were seclected for the experiment of NEp which was measured by substitution method with 31 rapeseed meal groups and a basal diet group. The remaining 20 ducks of the experimental were slaughtered at the beginning of the experiment to determine the initial body energy. Each treatment contained 5

replicates with 4 ducks per replicate, at the end of experiment all ducks were slaughtered to determined the body energy. Correlation and multiple linear stepwise regression analyses were conducted to establish the models for predicting NE of rapeseed meal by conventional compositions. The results showed as follows: 1) the NEm of Cherry Valley ducks was 0.557 MJ/(kg $W^{0.75}$•d). 2) The NE of 31 different meals were quite different, the NE of rapeseed meal were 4.18 to 6.05 MJ/kg DM using the conversion method, the NE/apparent metabolizable energy (AME) was 0.56±0.06. 3) The NE of rapeseed meal was highly revelvant with its conventional composition, multiple linear regression to establish regression model as follows, NE=0.416AME+0.041CP-0.020NDF+0.110CF-1.093 (R^2=0.901, RSD=0.06 MJ/kg, P<0.01), in the formula, *CP* was crude protein, *NDF* was neutral detergent fiber, *CF* was crude fiber. It is concluded that the NE and conventional composition of rapeseed meal is quite different. The NE of rapeseed meal is highly revelvant with its conventional composition and has regression relationship.

Key words: rapeseed meal; Cherry Valley ducks; net energy; conventional composition

---

*Corresponding author, professor, E-mail: jiagang700510@163.com　（责任编辑　武海龙）